

GDSudão: proposta de FMIS voltado ao manejo de capim-sudão

Ricardo Robaina¹ Gustavo Trentin² Leonardo Pinho¹

¹ Universidade Federal do Pampa - Bagé, Rio Grande do Sul, Brasil
{ricardorobaina, leonardopinho}@unipampa.edu.br

² Embrapa Pecuária Sul - Bagé, Rio Grande do Sul, Brasil
gustavo.trentin@embrapa.br

Resumo O crescimento populacional acelerado observado atualmente aumenta a complexidade dos desafios relacionados à segurança alimentar global. Uma das formas mais viáveis de tratar esse problema é a busca por meio de produção mais eficientes e sustentáveis, que visam aumentar a produtividade em sistemas de produção de alimentos existentes, utilizando a máxima capacidade dos recursos naturais, de maneira sustentável. Uma forma de contribuir para o melhoria da produtividade em sistemas de produção de alimentos é através da utilização de técnicas de agropecuária de precisão em conjunto com sistemas computacionais. Nesse contexto os Sistemas de Informação de Gerenciamento Agrícola (FMIS), referente ao termo em língua inglesa *Farm Management Information Systems*, caracterizam sistemas de informação concebidos e empregados diretamente em sistemas de produção agropecuários com o objetivo prover um suporte à tomada de decisão de produtores rurais e, com isso, maximizar a produtividade em suas propriedades. O presente trabalho apresenta a proposta de um FMIS voltado ao manejo de capim-sudão. O texto apresenta a motivação do trabalho, a metodologia de pesquisa utilizada, um referencial teórico abrangente e trabalhos correlatos ao tema, bem como, a arquitetura do sistema proposto e resultados preliminares.

Keywords: Capim-Sudão · Soma Térmica · Sistemas de informação de gestão Agrícola · Bancos de Dados Geoespaciais · Redes de Sensores Sem Fio

1 Introdução

Atualmente, a população mundial ultrapassa o número de 7,7 bilhões de pessoas. Segundo estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial será de 8,5 bilhões de pessoas em 2030 e 9,7 bilhões em 2050. A medida que no ano de 2100, 10,9 bilhões de seres humanos deverão habitar o planeta Terra [16]. Esse crescimento acentuado indica que em médio e longo prazo a manutenção da segurança alimentar global tende a ser uma tarefa de alta complexidade pois a limitação de recursos naturais no planeta não permite que exista a expansão da produção alimentar na mesma escala do crescimento populacional.

Segundo [13], os desafios relacionados a esse problema se concentram na diminuição do desperdício dos alimentos produzido, e na busca de meios de produção mais eficientes e sustentáveis e que sejam organizados em uma economia circular.

Além da questão da segurança alimentar a produção de alimentos é uma das principais fontes econômicas de diversas nações. Em 2017 a agro indústria compôs 5,4% do Produto Interno Bruto (PIB) dos Estados Unidos da América [25]. No Brasil o cenário é ainda mais intenso, a economia do país é fortemente dependente do setor agropecuário. Segundo dados do IBGE do ano de 2017, o PIB do agronegócio – que compreende além de atividades primárias as atividades de transformação e de distribuição dos produtos – colaborou com aproximadamente 24% do PIB brasileiro [7]. Além disso, no ano de 2018, o valor bruto da produção (VBP) de bovinos no Brasil foi de mais 76 bilhões de reais, o que representa cerca de 13% do valor bruto de produção total do país [11].

Apesar do agro negócio ser a base econômica de muitos países e de existir demanda por mais produtos, a expansão da produção agropecuária é limitada pela quantidade de recursos naturais disponível. Por exemplo, no Brasil apenas 6,7% da área territorial total é disponibilizada para essas atividades [12], além disso, a produção de alimentos é fortemente dependente do bioma de cada região. Dessa forma, o aumento de produtividade em sistemas de produção agropecuária já existentes mostra-se, cada vez mais, uma das opções mais promissoras frente ao problema enfrentado, pois dessa forma pode-se aumentar a quantidade de produção sem que exista a necessidade de expansão territorial [20].

Na pecuária, a produtividade está diretamente relacionada à técnica de manejo empregada na pastagem e nos animais. O manejo adequado objetiva ofertar uma quantidade de alimento suficiente para satisfazer as exigências dos animais em pastejo, além de garantir a sobrevivência da espécie forrageira pastejada. Dessa forma, a altura da pastagem está associada com o desempenho animal, isto é, com ganho de peso do animal durante o período de pastejo. [2].

Outro fator que influencia no desempenho animal é a espécie forrageira ofertada aos animais. Um exemplo é a cultivar capim-sudão BRS Estribo é uma pastagem de verão que se destaca pelo seu elevado valor nutritivo, ciclo de produção longo, atóxico aos animais, adaptação em diferentes tipos de solos e tolerância à deficiência hídrica. Em relação ao valor nutritivo, as folhas constituem a parte mais rica da planta, enquanto o colmo possui um valor nutritivo menor. Por esse motivo, o correto manejo dessa espécie é determinante para o aumento da produtividade, pois o capim-sudão apresenta o seu máximo valor nutritivo quando as plantas alcançam uma altura entre cinquenta e sessenta centímetros, pois nessa altura existe a predominância de folhas no vegetal [21].

O crescimento vegetal é dependente da temperatura do ar na qual a planta está exposta, pois a temperatura afeta a velocidade das reações e dos processos internos do vegetal. Tais processos ocorrem adequadamente somente entre certos limites térmicos, que variam dependendo da espécie [18]. Pode-se explorar esse conceito como um forma indireta de mensurar a taxa de crescimento de um vegetal. Nesse contexto, o sistema de unidades térmicas ou graus-dia se destaca. Esse método pressupõe que a planta necessita de uma certa quantidade de

energia para o seu desenvolvimento, representada pela soma térmica do período de cultivo [6]. Dessa forma, o método de graus-dia pode ser utilizado para a previsão da duração de ciclos de cultivo e épocas de manejo de vegetais [18].

A medição da altura da pastagem pode ser realizada de forma empírica ou através da utilização de instrumentos de medidas específicos, como a régua de manejo apresentada em [2]. Tanto a medição empírica quanto a utilização de instrumentos de medida possuem um custo operacional alto, isto é, é necessário o deslocamento até a área de interesse para a realização da medição da altura da pastagem. Além disso, muitas vezes, essas áreas são de difícil acesso. Dessa forma, fica clara a necessidade de métodos de medição indiretos que auxiliem o produtor na tomada de decisão sem acarretar em um custo operacional elevado.

Uma forma sustentável de estimar as épocas de manejo de pastagem durante um período de cultivo, utilizando o método de soma-térmica, é através do emprego de sistemas de informação de gerenciamento agrícola (FMIS). Estes são sistemas de informação concebidos e empregados diretamente em sistemas de produção agropecuários, com o objetivo de prover um suporte à tomada de decisão de produtores rurais e, com isso, maximizar a produtividade em suas propriedades [17].

Dessa forma, o presente trabalho possui como objetivo principal determinar de forma precisa as épocas de manejo do capim-sudão BRS Estribo, com base em dados climáticos e meteorológicos, por meio de uma solução computacional baseada no conceito de sistema de informação de gerenciamento agrícola (FMIS).

O texto desse artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção 1 apresenta a classificação e as etapas da metodologia de trabalho utilizada. Em seguida, a Seção 2 sumariza os trabalhos correlatos a este. A solução proposta para tratar o problema discutido é apresentada na Seção 3.4, enquanto a Seção seguinte discute os resultados obtidos até o presente momento. Por fim, a Seção 4 apresenta as conclusões do presente estudo.

2 Metodologia

Segundo as definições apresentadas em metodologia, pode-se classificar a metodologia de pesquisa empregada nesse trabalho como aplicada, pois visa gerar conhecimento útil e aplicável, voltado à solução de um problema específico. Com relação aos objetivos de pesquisa, classificou-se a presente metodologia como exploratória inicialmente e como explicativa nas etapas finais. Essa classificação foi caracterizada dessa forma porque inicialmente adquiriu-se familiaridade com os temas relacionados, através de investigações, enquanto em um segundo momento, buscar-se-á explicar os resultados obtidos nas etapas anteriores, por meio da análise e da interpretação dos fenômenos observados.

A metodologia de pesquisa do presente trabalho foi definida em sete etapas principais. A Figura 1 apresenta, em um diagrama de sequências as etapas da metodologia definida neste estudo. Em seguida são detalhado os objetivos de cada etapa.

4 R. Robaina et al.

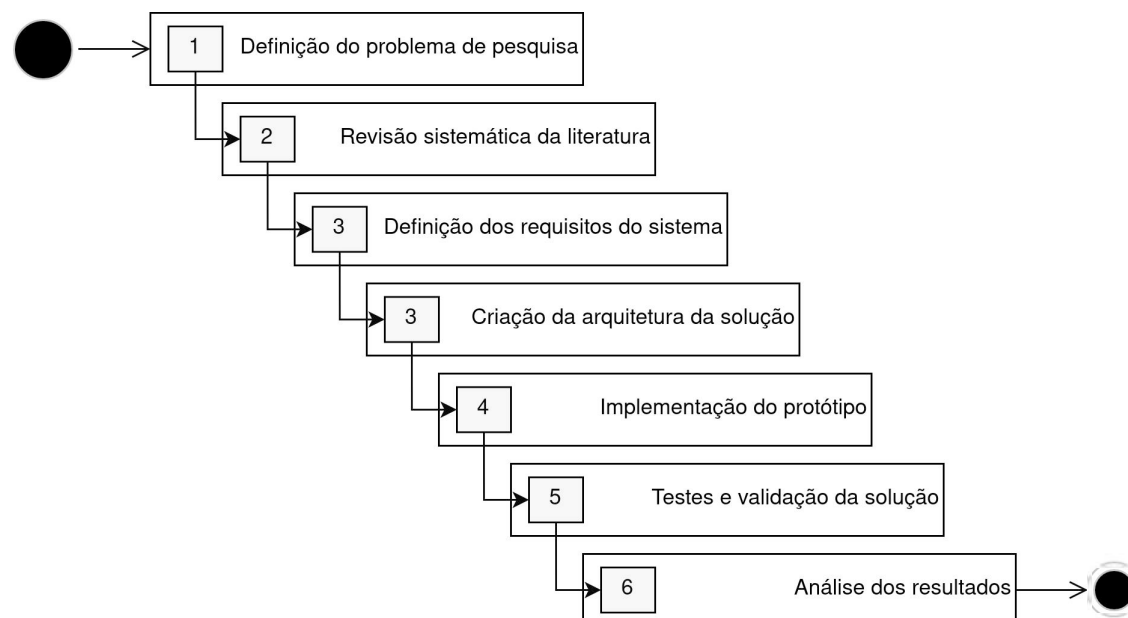


Figura 1: Diagrama de sequências das etapas da metodologia de trabalho

1. Durante a primeira etapa definiu-se o problema de pesquisa a partir de uma demanda real da sociedade;
2. Em seguida realizou-se uma revisão sistemática da literatura tanto para adquirir familiaridade com o tema abordado quando para compor o referencial teórico desse trabalho. Para isso, os assuntos pertinentes a pesquisa foram consultados nas seguintes fontes de busca: IBGE, BDPA, Scopus, SciELO, Portal de Periódicos da CAPES, Plataforma Sucupira, Revista Agrometeoros, Biblioteca SBAGRO, *Agricultural and Forest Meteorology Agronomy Journal*, ACM, IEEE, Elsevier, *Computers and Electronics in Agriculture* e Google Scholar;
3. Durante a terceira etapa, com base no problema a ser tratado e na bibliografia estudada previamente, elencou-se os requisitos do sistema que visa resolver o problema de pesquisa;
4. A quarta etapa da presente metodologia destinou-se a criação de uma arquitetura para a solução proposta. Tal arquitetura é composta por componentes que unidos representam a solução proposta por este estudo;
5. Em seguida, com base na arquitetura criada na etapa anterior, a quinta etapa é destinada a implementação de um protótipo da solução arquitetada;
6. A etapa seguinte será destinada a testes e validação da solução desenvolvida;
7. Por fim, a última etapa desta metodologia de pesquisa contemplará a etapa de análise dos resultados obtidos.

3 Referencial bibliográfico

3.1 Soma térmica

As condições edafoclimáticas em que uma planta está exposta determinam o seu desenvolvimento. Em relação ao solo, destacam-se a quantidade de água

e nutrientes disponíveis. Já em relação ao clima, a temperatura do ar exerce um papel determinante no crescimento vegetal, pois afeta diretamente a velocidade das reações químicas e dos processos internos de transporte das plantas. Tais processos são executados de maneira adequada somente entre certos limites térmicos, de forma que temperaturas externas a esses limites não afetam o crescimento da planta ou até causam o fim precoce do ciclo de vida da espécie vegetal. Esses limites variam de acordo com a espécie e variedade, de modo que plantas de clima tropical são sensíveis a baixa temperatura enquanto plantas de clima temperado necessitam de temperaturas baixas para o seu desenvolvimento. [18].

O conceito de sistema de unidades térmicas ou graus-dia (GD) é utilizado atualmente para a previsão da duração do ciclo fenológico de vegetais. Nesse conceito é pressuposta a existência de temperaturas basais, as quais caracterizam a faixa de temperatura em que ocorre o crescimento do vegetal. Entre a temperatura basal inferior T_b e a temperatura basal superior T_B , pressupõe-se a existência de uma temperatura ideal T_i , na qual a taxa de desenvolvimento do vegetal é máxima. Ao passo que, entre T_b e T_i a relação entre temperatura do ar e desenvolvimento é praticamente linear. Fora dessa faixa de temperatura, o crescimento da espécie é nulo ou desprezível. Ressalta-se que cada espécie possui suas próprias temperaturas basais e que o método de graus-dia considera apenas o fator térmico para o crescimento vegetal [18]. A Figura 2 ilustra esse conceito. Nesse exemplo hipotético as temperaturas basais, máxima e mínima, são respectivamente iguais a 6°C e 40°C, fora desse intervalo o crescimento é nulo. O gráfico aponta, que nesse caso, a temperatura ideal está na faixa entre 26°C e 34°C.

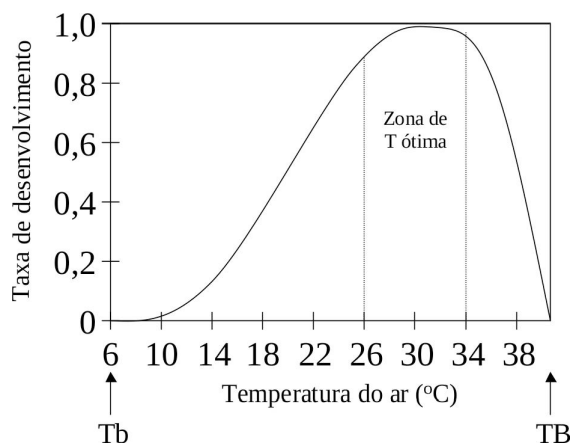


Figura 2: Taxa de desenvolvimento vegetal relativo as temperaturas basais [18]

O cálculo de unidades térmicas de um dia pode ser obtido de diferentes formas. Nas condições climáticas do centro-sul do Brasil, as temperaturas médias não ultrapassam a temperatura basal superior Tb , dessa forma pode-se considerar apenas Tb no cálculo. Nessa condição, o cálculo de graus-dia GD_i é representado pela Equação 1, onde $Tmax_i$ e $Tmin_i$ representam, respectivamente, as temperaturas máximas e mínimas mensuradas em $^{\circ}C$, de um dado dia. Simplificando ainda mais essa equação, pode-se obter o cálculo de GD_i apenas subtraindo a temperatura base inferior Tb da temperatura média do dia $Tmed_i$. A Equação 2 apresenta a versão simplificada do cálculo de unidades térmicas.

$$GD_i = \frac{Tmax_i + Tmin_i}{2} - Tb \quad (1)$$

$$GD_i = Tmed_i - Tb \quad (2)$$

Para que uma cultura atinja uma fase fenológica de interesse, como uma época de corte no caso do capim-sudão, é necessário que esta acumule uma quantidade de unidades térmicas durante um determinado período. Esse acúmulo de graus-dia é chamado de Soma Térmica ST e é dado pelo total de GD_i acumulados (GD_a) ao longo da fase ou ciclo de uma planta. A Equação 3 apresenta o cálculo de ST , onde n representa o número de dias da fase ou ciclo.

$$ST = \sum_{i=1}^n GD_i \quad (3)$$

3.2 Sistemas de Informação de Gerenciamento de Fazenda

Farm Management Information System (FMIS) são sistemas de informação voltados especificamente para o setor agropecuário [24]. Defini-se FMIS como um sistema planejado para coletar, processar, armazenar e apresentar dados em forma de um conjunto de informações úteis para as operações da propriedade rural [22]. A Figura 3 ilustra o conceito apresentado. Observa-se nessa figura que esse tipo de sistema pode operar coletando automaticamente dados heterogêneos oriundos de diferentes fontes, desde órgãos governamentais até elementos de *Internet of Things* (IoT), isto é, conjuntos de diferentes nós sensores distribuídos na própria propriedade. A transformação dos dados brutos em informações úteis pode auxiliar o gerente da propriedade na tomada de decisão.

Vale ressaltar, que a utilização de sistemas de informação de gestão agrícola visa apenas auxiliar os produtores rurais na tomada de decisão e não substituir o papel dos gestores.

3.3 O banco de dados MongoDB

Como visto anteriormente, o conceito de FMIS engloba, entre outras, as etapas de coleta e armazenamento de dados proveniente de diferentes fontes. A coleta

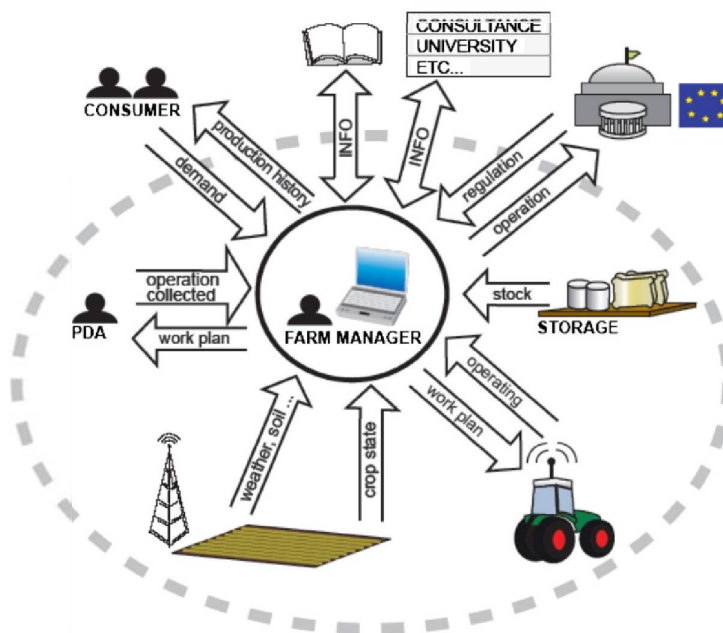


Figura 3: Modelo conceitual de sistema de informação de gerenciamento agrícola [22]

automatizada gera continuamente um grande volume de dados heterogêneos que necessitam ser armazenados, caracterizando um cenário de *Big Data* [26]. Segundo a literatura, nesses cenários os bancos de dados tradicionais, que utilizam o paradigma relacional, apresentam-se ineficientes. Assim, os bancos de dados do padrão *Not only SQL* (NoSQL), que utilizam o paradigma não somente relacional, são mais adequados [9].

Dentre os bancos de dados NoSQL, o MongoDB é um dos mais utilizados [8]. Segundo [5], o banco de dados MongoDB possui uma melhor performance e escalabilidade em relação ao banco de dados MySQL, em um cenário de coleta automatizada de grandes volumes de dados gerados por redes de sensores.

MongoDB é um banco de dados, do padrão NoSQL, orientado a documentos. Diferentemente dos bancos de dados relacionais, nos quais os dados são armazenados em tabelas, nesse tipo de banco, os dados são armazenados em documentos e estes são agrupados em coleções [14]. O formato *JavaScript Object Notation* (JSON) [3] é utilizado como padrão nos documentos do MongoDB. A Figura 4 ilustra estes conceitos, a Figura 4 (a) apresenta um documento MongoDB, utilizando notação Json e contendo documentos aninhados. A Figura 4 (b) ilustra o conceito de coleção desse banco de dados, a qual representa um conjunto de documentos.

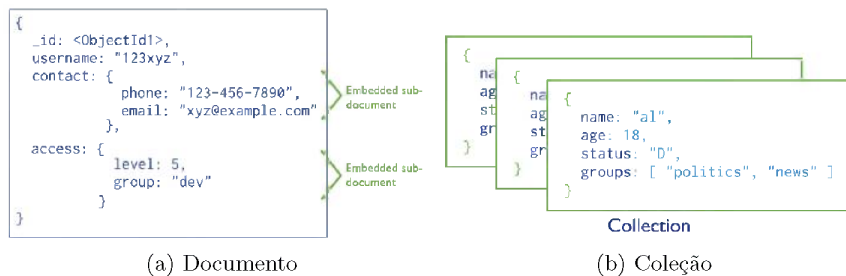


Figura 4: Modelo de dados MongoDB [14]

Para lidar com sistemas que levam em consideração a variabilidade espaço-temporal de suas entidades, faz-se necessário utilizar os conceitos e as técnicas de bancos de dados espaço-temporais. Esse tipo de banco de dados incorpora conceitos de bancos de dados espaciais, temporais e espaço-temporais, possibilitando, assim, o registro e a manipulação simultânea dos aspectos espaciais e temporais dos dados [1]. Entre os bancos de dados do padrão NoSQL, o MongoDB destaca-se por possuir suporte a dados georreferenciados.

Em estudos prévios realizou-se uma análise acerca da utilização de dados georreferenciados em bancos de dados NoSQL na Agropecuária de Precisão (AP) [19]. Nesse estudo concluiu-se que os bancos de dados NoSQL são mais adequados para cenários de AP por possuírem uma maior flexibilidade e escalabilidade em relação aos bancos de dados relacionais. Além disso, foi identificada a subutilização do banco de dados MongoDB nesse contexto, pois o banco de dados possui funcionalidades que se enquadram em demandas de aplicações de AP como: suporte a diferentes linguagens de programação, suporte a dados e a consultas georreferenciadas; ferramentas para a visualização de dados e existência de uma versão voltada a dispositivos móveis [15].

3.4 Trabalhos correlatos

Considera-se um trabalho correlato a este o projeto GD Arroz que tem a finalidade de auxiliar os produtores de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, através da estimativa de data de ocorrência de estágios de desenvolvimento dessa planta [23]. Com base nessa estimativa de data, é possível prever a ocorrência de fatores que influenciam na produtividade da cultura, como a diferenciação da panícula (DP) e, com isso, realizar a adubação nitrogenada em cobertura (ANC) no período correto.

Atualmente, o programa é acessível através de um Serviço Web do Laboratório de Agrometeorologia (Agromet) da Embrapa Clima Temperado [4]. Além disso, a ferramenta também é disponibilizada na forma de uma aplicação móvel para a plataforma Android. Com relação ao seu funcionamento, o sistema recebe inerente a localidade, data de plantio e características da planta. A predição da

ocorrência das datas de estádios fenológicos é computada através do cálculo de soma térmica com base em dados normais disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [23].

4 Resultados

Com base na etapa exploratória dessa pesquisa, pode-se identificar que o capim-sudão possui uma altura ótima a qual produz o maior ganho de peso nos animais. A partir de experimentos realizados em [10], identificou-se a quantidade de soma térmica que o capim-sudão demanda para atingir a sua altura ideal. Após o plantio, a forrageira demanda $358\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dia}$ para atingir essa altura. Após o primeiro corte, ao atingir a soma térmica de $281\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dia}$, o capim-sudão está apto a ser cortado novamente. Durante o pastejo-rotacionado, os animais pastejam uma área até que a espécie forrageira esteja a uma altura de aproximadamente cinco centímetros. Após o pastejo a área, fica um período sem animais para que a espécie forrageira atinja a sua altura ideal novamente.

Com o objetivo de propor um método indireto de precação de altura da pastagem, fazendo uso do conceito de FMIS, pode-se utilizar dados públicos que possibilitem o cálculo de graus-dia. A Figura 5 ilustra ciclos do capim-sudão em um cenário de manejo rotacionado na forma de uma linha do tempo em relação aos dados climáticos disponíveis em cada instante.

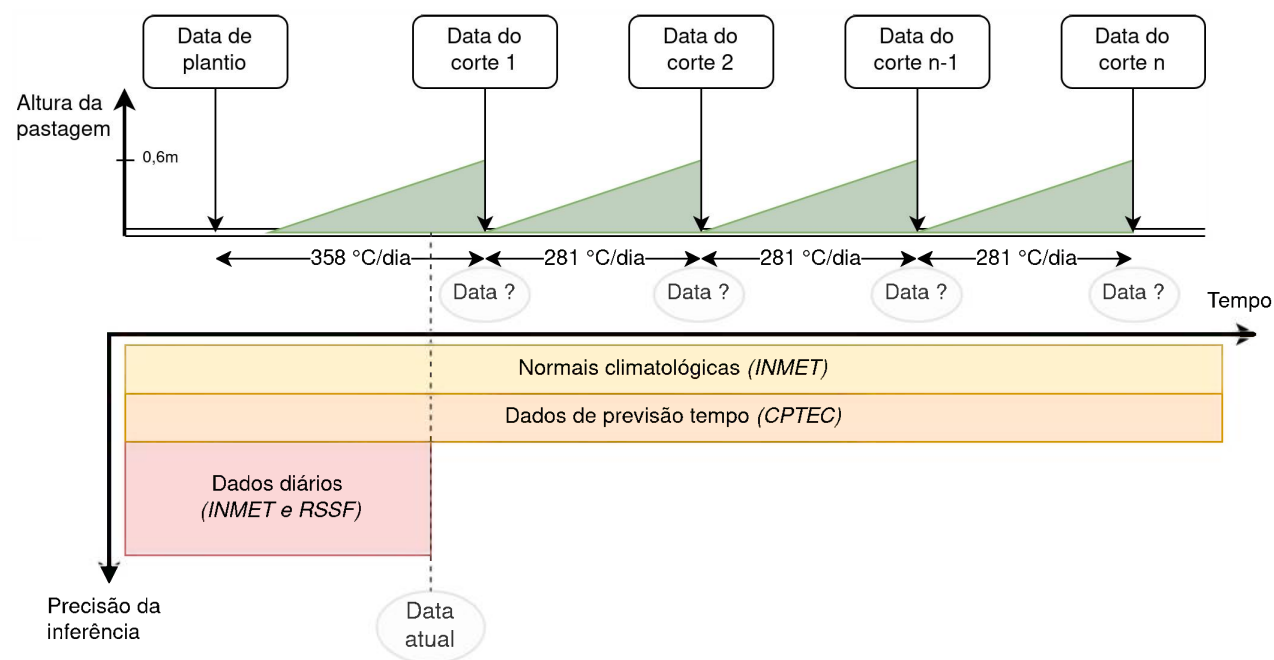


Figura 5: Esquemático de ciclos do capim-sudão em manejo rotacionado e climáticos existentes em relação ao tempo

Com relação as bases de dados públicas com potencial utilização para essa finalidade, destacam-se as bases de dados das instituições: Instituto Nacional de meteorologia (INMET) e o Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

(CPTEC). O INMET disponibiliza dados intrínsecos de todas as estações meteorológicas do Brasil, além de dados de normais climatológicas (médias históricas dos últimos trinta anos) e dados de medições diárias de variáveis climatológicas. Já o CPTEC disponibiliza, entre outras informações, dados de previsão do tempo com até sete dias de antecedência.

Tendo em vista o problema descrito, a solução proposta e as bases de dados disponíveis, compôs-se uma arquitetura de FMIS, ilustrada na Figura 6. Como pode-se observar nessa figura, os dados provenientes do INMET são: dados de estações meteorológicas, dados históricos e dados diários; enquanto os dados de previsão do tempo são obtidos do CPTEC. Esses dados são coletados automaticamente por um módulo de coleta de dados que insere estes dados diretamente no banco de dados. O usuário se comunica com o sistema através de uma aplicação móvel que acessa os dados por meio de uma *Application Programming Interface* (API). A arquitetura ainda define a existência de dados de microclima gerados a partir de redes de sensores sem fio (RSSF) que podem opcionalmente compor o banco de dados, acessando-o por meio da interface da API.

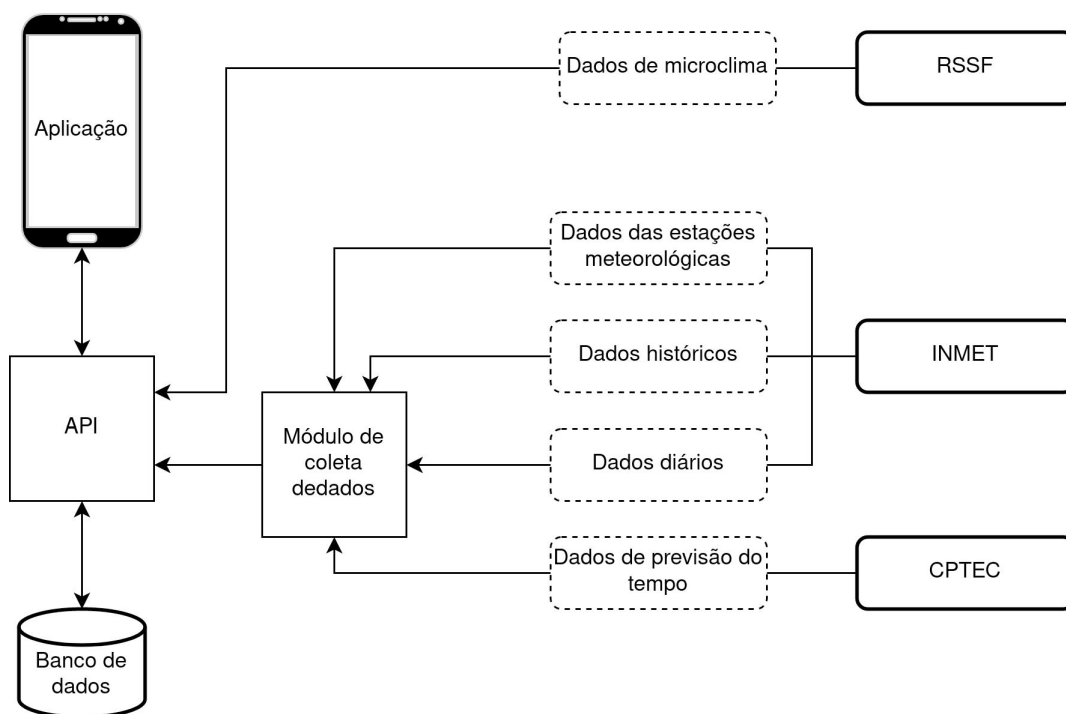


Figura 6: Arquitetura do Sistema de Informações de Gestão Agrícola GDSudão

Com relação a aplicação móvel, o usuário poderá criar uma nova área de plantio, a data e a área de plantio. A área de plantio poderá se coletada diretamente dos dados do sensor de GNSS disponível nos dispositivos móveis atuais. Após a inserção dos dados o sistema irá calcular qual a data que esta área estará pronta

para o manejo, isto é, em qual dia o capim-sudão cultivado nessa região terá atingido a altura ideal. Inicialmente a precisão da predição estará relacionada com dados disponíveis no presente momento. Como pode ser observado na Figura 5 na data de plantio apenas dados históricos e dados de previsão do tempo estão disponíveis. Entretanto a medida que se aproxima da data de manejo, dados diários e dados de previsão do tempo mais precisos aumentam a acurácia da predição da data de manejo. Assim o produtor saberá com antecedência qual a data ideal para manejar determinada área de plantio.

A API proposta nessa arquitetura é uma interface de computação que define as interações entre múltiplos *softwares* intermediários. Dessa forma possibilita-se que tanto a aplicação final como as redes de sensores sem fio se comuniquem de forma padronizada com banco de dados. Isso garante a integridade do banco de dados e também possibilita que diferentes implementações de RSSF possam inserir dados no sistema.

Apesar de estudos preliminares indicarem que predições realizadas apenas com dados de estações meteorológicas e de previsão do tempo tem uma precisão satisfatória. Dados de RSSF podem aumentar ainda mais a precisão do método por apresentarem dados do microclima da região na qual a pastagem está exposta. Além disso, RSSF podem ser uma fonte de dados necessária em regiões que não possuem estações meteorológicas próximas o bastante.

Os dados coletados pelo módulo de coleta de dados compõem o banco de dados do sistema. Nesse banco de dados os dados são agrupados espacialmente de acordo com a localização da fonte na qual o dado foi gerado. Conforme mencionado, o INMET disponibiliza, entre outros, os dados de localização de todas as estações meteorológicas do Brasil. A Figura 7 apresenta o mapa gerado a partir do banco de dados criado. Nessa figura, os pontos azuis indicam a presença de um estação meteorológica. Estão associado a cada estação meteorológica dados históricos, dados diários e dados de previsão do tempo. Dessa forma, a partir da localização da plantação de capim-sudão pode-se identificar a estação meteorológica mais próxima por meio um busca geoespacial, e assim, realizar os cálculos de predição de épocas de manejo utilizando dados mais próximos da realidade dessa plantação.

Também observa-se na Figura 7 que existe uma grande cobertura de estações meteorológicas pelo território nacional, principalmente nas regiões Sul, Sudeste, e Nordeste. Nas outras regiões a maior distância entre as fontes de dados podem resultar em uma menor acurácia da predição. Esse fato potencializa a necessidade de utilização de redes de sensores locais nessas realidades.

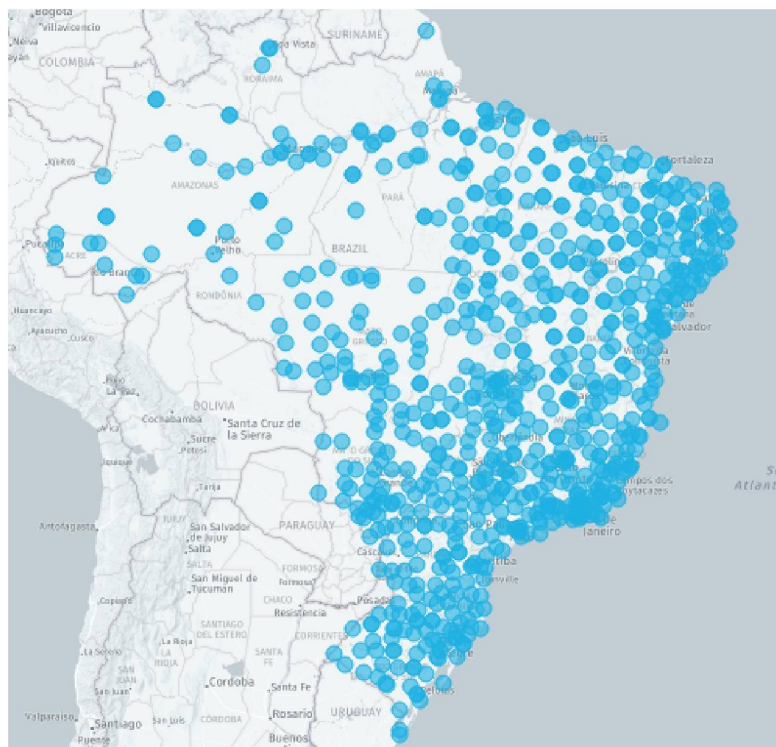


Figura 7: Imagem dos banco de dados espaço-temporal gerado contendo dados das estações meteorológicas do Brasil.

5 Conclusões

O presente artigo apresenta a proposta de um sistema de informação de gerenciamento de fazenda voltado ao aumento da produtividade em sistemas de pecuária, através da predição das épocas de manejo do capim-sudão BRS Estribo. O texto aborda a problemática envolvida, a metodologia de pesquisa utilizada, uma revisão da literatura e propõe um sistema de informação de gerenciamento agrícola para tratar o problema identificado. Quando finalizado esse sistema tem o potencial de contribuir com o crescimento regional por ser uma ferramenta voltada ao aumento da produtividade em sistemas de pecuária. Como trabalhos futuros pretende-se finalizar o desenvolvimento do protótipo, bem como validar o seu correto funcionamento. Além disso, pretende-se analisar a acurácia das predições com base em dados oriundos de diferentes fontes e quantificar o erro associado a cada uma das fontes estudadas.

Referências

1. Chen, C.X.: Spatiotemporal databases. Encyclopedia of GIS (2017)
2. da Costa, J.A.A., de Queiroz, H.P.: Régua de manejo de pastagens. Tech. rep., Embrapa (2013)
3. ECMA: Standard ecma-404: The json data interchange syntax (2017), <https://www.json.org/>
4. EMBRAPA: Gd arroz: programa baseado em graus-dia visando definir o momento de realizar a adubação nitrogenada em cobertura em arroz irrigado (2014), <https://www.embrapa.br/clima-temperado/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1673/gd-arroz-programa-baseado-em-graus-dia-visando-definir-o-momento-de-realizar-a-adubacao-nitrogenada-em-cobertura-em-arroz-irrigado>
5. Fatima, H., Wasnik, K.: Comparison of sql, nosql and newsql databases for internet of things. In: 2016 IEEE Bombay Section Symposium (IBSS). pp. 1–6. IEEE (2016)
6. Filho, G.M., Sarmiento, C.A.V., Souza, J.L., Silva, L.C., Almeida, A.C.d.S.: Gd-cana-programa cálculo de graus-dia para a cultura da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA. vol. 14 (2005)
7. IBGE: Agropecuária puxa o pib de 2017 (2017), <http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-2017>, acessado em 12/10/2019
8. Kamilaris, A., Kartakoullis, A., Prenafeta-Boldú, F.X.: A review on the practice of big data analysis in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture **143**, 23–37 (2017)
9. Karmas, A., Tzotsos, A., Karantza, K.: Geospatial big data for environmental and agricultural applications (2016)
10. MALCORRA, M.P., FAGUNDES, B.F., da SILVEIRA, M.C.T., TRENTIN, R., TRENTIN, G.: Determinação do intervalo entre cortes para o capim sudão utilizando a somatémica. In: Embrapa Pecuária Sul-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 26.; ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO UFPEL ... (2017)
11. MAPA: Valor da produção agropecuária de 2019 deverá superar o deste ano (2018), <http://www.agricultura.gov.br/noticias/valor-da-producao-agropecuaria-de-2019-devera-superar-o-deste-ano>, acessado em 14/06/2019
12. MAPA: Agropecuária brasileira em números (2019), <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/agropecuaria-brasileira-em-numeros>, acessado em 12/10/2019
13. Mc Carthy, U., Uysal, I., Badia-Melis, R., Mercier, S., O'Donnell, C., Ktenioudaki, A.: Global food security—issues, challenges and technological solutions. Trends in Food Science & Technology **77**, 11–20 (2018)
14. MongoDB: MongoDB documentation (2019), <https://docs.mongodb.com/>
15. MongoDB: MongoDB mobile (2019), <https://www.mongodb.com/products/mobile>
16. Nations, U.: How certain are the united nations global population projections? (2019), <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/popfacts/PopFacts2019-6.pdf>
17. Nikkilä, R., Seilonen, I., Koskinen, K.: Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. Computers and electronics in agriculture (2010)
18. Pereira, A.R., Angelocci, L.R., Sentelhas, P.C.: Meteorologia Agrícola. Universidade de São Paulo (2007)

19. Robaina, R.P., da Silva Camargo, S.: Georeferenciamento e bancos de dados nosql: Uma análise do panorama atual na agropecuária de precisão. Congreso Argentino de AgroInformática **11**, Aceito para publicação (2019)
20. Saath, K.C.d.O., Fachinello, A.L.: Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no brasil. Revista de Economia e Sociologia Rural **56**(2), 195–212 (2018)
21. da Silveira, M., SANT'ANNA, D., MONTARDO, D., TRENTIN, G.: Aspectos relativos à implantação e manejo de capim-sudão brs estribo. Embrapa Pecuária Sul-Documents (INFOTECA-E) (2015)
22. Sørensen, C., Fountas, S., Nash, E., Pesonen, L., Bochtis, D., Pedersen, S.M., Basso, B., Blackmore, S.: Conceptual model of a future farm management information system. Computers and electronics in agriculture **72**(1), 37–47 (2010)
23. Steinmetz, S., Cuadra, S.V., Pereira, C.B., dos Santos, E.L., de Almeida, I.R.: Fundamentos do programa gd arroz, versões web e aplicativo, e seu uso no manejo do arroz irrigado. Embrapa Clima Temperado-Artigo em periódico indexado (ALICE) (2018)
24. Tummers, J., Kassahun, A., Tekinerdogan, B.: Obstacles and features of farm management information systems: A systematic literature review. Computers and electronics in agriculture **157**, 189–204 (2019)
25. USDA: Ag and food sectors and the economy (2020), <http://www.ers.usda.gov/data-products/ag-and-food-statistics-charting-the-essentials/ag-and-food-sectors-and-the-economy.aspx>
26. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M.J.: Big data in smart farming—a review. Agricultural Systems **153**, 69–80 (2017)